

다양한 철도하중을 받는 지중 갤러리관의 손상 보강에 관한 연구

A Study on the Damage Reinforcement of Gallery Pipes Under the Ground Subjected to Various Railway loads

이원규* 이상범** 이래철*** 김무일****
Lee, Won-Gyu Lee, Sang-Bum Lee, Rae-Chul Kim Mu-Il

ABSTRACT

This study deals with the damage reinforcement of structures under the ground such as gallery pipes subjected to railway loads. Railway loads with various moving velocities make significant influences on the ground gallery pipes passing through under the railway. For real structures this study analyzes such effects in detail and establishes a method for the efficient damage reinforcement. Moreover we predict the hereafter structural behaviors of gallery pipes under the ground by several numerical simulation. The results of this study are expected to offer useful guidelines for explaining the complicated damage characteristics of the ground gallery pipe structures.

1. 서 론

현재 국내에서 시공하고 운행 중인 다양한 철도 노선은 신속하고 편리한 여객 수송 및 물류 발전에 크게 기여하고 있다. 그러나 고속철도 등과 같이 연장이 교량, 터널, 토공구간 등 다양한 구조물이 혼재해 있는 경우, 이러한 각 구조물의 역학적 특성상 구조물의 거동이 상이함으로써 손상과 결함의 증상이 각기 다르고 원인 또한 다르게 나타난다. 특히 최근, 다양한 목적으로 기존의 철로 및 도로의 하부를 횡단하는 지중 구조물의 시공이 빈번해짐에 따라 지중 굴착으로 인하여 유발되는 손상 정도를 비롯하여 반복되는 다양한 철도하중에 의한 진동 현상 등이 지중 구조물의 안전에 심각한 영향을 줄 수 있는 손상을 구조적으로 파악하고 이에 대한 대책을 수립하는 일은 매우 중요하다. 그러나 이와 관련된 국내외의 현장 사례를 바탕으로 한 구체적인 연구는 미미한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 고속전철과 일반전철 등이 운행하는 철도역사류 횡 방향으로 통과하는 지중 구조물의 시공을 위하여 지중 갤러리관 추진 중에 발생한 다양한 손상 사례를 분석하고 다양한 철도하중별로 실제현장 실험을 수행한다. 또한, 실험 데이터를 바탕으로 이

* 방송통신(주) 상무, 서울산업대학교 철도전문대학원 석사과정, 정회원

** 에스투엔지니어링(주) 부장, 공학박사

*** 에스투엔지니어링(주) 대표이사, 공학박사

**** 서울산업대학교 교수, 공학박사, 정회원

열차하중은 운행중인 열차 중에서 고속전철 4회, 새마을호 2회, 무궁화호 4회 및 화물차 3회 등 총 11회(중철 2회)에 걸쳐 실험을 실시하였으며 무정차 통과시 80km/hr로 역사끝 주행하는 것으로 조사되었다. 측정 실험 결과 네가지 종류의 각 기관차별 갤러리관에서 발생한 최대처짐은 0.171mm, 0.258mm, 0.380mm 및 0.376mm가 각각 발생하였으며, 고속열차 통과시보다 오히려 화물차에 의해 갤러리관에 발생하는 처짐이 가장 큰 것으로 조사되었다. 이는 화물차는 저속 주행을 하기 때문에 갤러리관의 처짐에 지속적으로 영향을 미치게 되는 것으로 사료된다. 그림 4는 가장 큰 처짐이 발생된 화물차에 의한 각 위치별 처짐 분포를 나타낸다.

또한 추진 중인 갤러리관의 레일 측정결과 우측관의 경우 69.7cm, 좌측관의 경우는 33.0cm의 처짐이 이미 발생하였음을 알 수 있었다. 이는 갤러리관의 시공시 초기 30m가량은 보조공법을 적용하지 않은 상태에서 시공이 진행되면서 선단부 지반이 침하가 발생하고, 처진 상태에서 관이 지속적으로 추진되면서 권심하중의 전달로 과도한 관의 처짐이 유발된 것으로 분석할 수 있다. 그러나 다양한 철도하중으로 인한 반복적 하중이 갤러리관의 과도 처짐에 지속적으로 중대한 역할을 했음을 간과해서는 안된다.

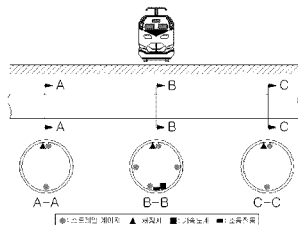


그림 3 재하실험 차량의 재하위치 및 게이지 부하위치

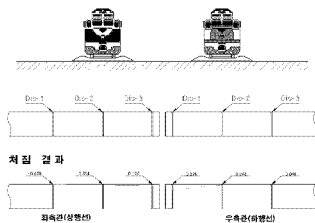


그림 4 화물차에 의한 각 위치별 처짐 분포

4. 수치해석에 의한 손상에 대한 보강방안

4.1 보강 방안

실험대상인 지하차도 TRCM 구간은 다양한 철도하중의 반복적인 통과로 인하여 구조적으로 심각한 영향을 받고 있을 뿐 아니라 상대적으로 연약한 지반을 굴착함에 있어 효과적인 지반보강이 실시되지 않음으로 인하여 캘러리관의 지속적인 파대 처짐 및 손상을 발생시킨 것으로 분석되었다. 이러한 손상은 본 연구의 실험대상 구간 뿐만 아니라 국내의 많은 유사 현장에서 발생할 수 있는 중대한 문제이므로 안정성 확보를 위하여 적극적인 보강 방안을 수립해야 할 것이다. 본 연구에서는 이러한 지중 캘러리관의 파대 처짐 및 손상을 보강하기 위한 방안으로 슬래브관 연장 시공 후 하부를 그라우팅으로 보강하는 방안을 제시하고자 한다.

본 연구에서 제안하는 슬래브관 연장 시공 후 그라우팅으로 보강하는 방안은 당초 슬래브관 설계보다 1.0m 가량 연장 시공하여 트래치 시공을 위한 작업 공간을 확보하고, 상부토사의 관내 유입을 방지하며, 소성 변위에 대한 트래치 굴착면의 보호 역할을 도모하고자 하는 장점을 갖는다. 또한 슬래브관 하부를 그라우팅 보강하여 슬래브관의 처짐 등에 대한 보강을 실시하며, 트래치 굴착을 위한 수직 그라우팅을 기존의 풍화암 상단까지에서 풍화암 1.0m까지 시공하여 침하 등에 대한 보강 및 슬래브관의 지지력을 확보하고자 하는 방안이다. 그림 5는 이러한 보강 방안의 개요도를 나타낸 것이다.

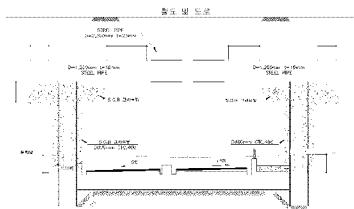


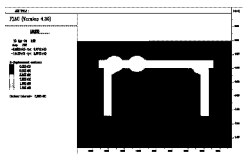
그림 5 본 연구에서 제안한 보강 방안의 개요도

4.2 FLAC을 이용한 수치해석 결과 비교

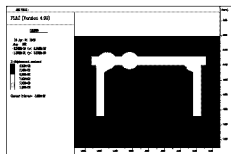
본 연구에서는 현장 제하 실험 결과를 토대로 철도차량 하중의 영향으로 인한 지중 관구조물의 손상 등을 보강할 수 있는 방안을 제시하기 위하여 2차원 유한차분 프로그램인 FLAC-2D (4.0버전)을 사용하여 수치해석을 실시한다. FLAC 프로그램의 이론적 근간을 이루는 유한차분법 (Finite Difference Method)은 구조물의 지배방정식을 이루고 있는 편미분항들을 수학적 근사식을 이용하여 이차원 절점의 변위항으로 치환하고 해석하고자 하는 변위에 대한 다원 일차원립 방정식의 형태로 변환하여 그 해를 구함으로써 미지의 변위들을 얻을 수 있는 수치해석 기법이다. 본 연구에서는 슬래브관과 트래치 시공시 기존 설계 도면과 같이 별도의 보강을 실시하지 않는 경우와 앞 절에서 제안한 슬래브관보강(슬래브관 1.0m 연장시공+ 슬래브관 하부의 트래치 벽에 그라우팅)을 실시하는 경우에 대하여 수치 모델링에 의한 시뮬레이션 해석을 통하여 보강

방안의 타당성을 입증하고자 하였다.

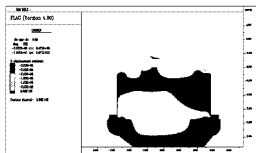
그림 6의 (a)~(f)에서 보는 바와 같이 수치해석 실시 결과 본 연구에서 제안한 보강 방안의 진후를 비교하였을 때 보강 후 전반적으로 항복 및 소성영역이 감소하는 것으로 검토되었으며 슬래브관과 특히 트랜치벽 주변의 항복 및 소성영역 감소가 크게 나타나는 것으로 평가되었다. 또한 슬래브관과 트랜치벽 주변의 변위가 감소하는 것은 검토되어 트랜치벽 시공시 안전성이 높아지는 것으로 나타났다.



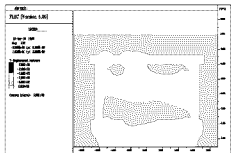
(a)보강전 슬래브관 수평 변위



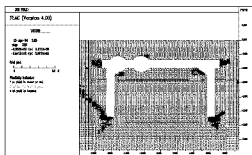
(b)보강 후 슬래브관 수평 변위



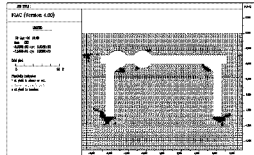
(c)보강전 슬래브관 수직 변위



(d)보강 후 슬래브관 수평 변위



(e)보강전 소성영역도



(f)보강 후 소성영역도

그림 6 보강전후에 대한 수치해석 결과 비교

5. 결 론

본 연구에서는 다양한 철도하중이 통과하는 TRCM공법을 사용한 지중 갤러리관 구조물의 거동 및 손상을 실제 현장 실험을 통하여 분석하였다. 분석 결과 다양한 종류의 철도하중 통과는 지중구조물의 변형에 심각한 영향을 주는 것으로 나타났으며, 아울러 적절한 지반보강을 하지 않은 무리한 지반 굴착 및 갤러리관의 시공이 파다 처짐을 유발시켰음을 알 수 있었다. 본 연구에서는 이러한 지중구조물의 손상을 보강하는 방안으로 슬래브관을 1.0m 연장 시공한 후 슬래브 하부와 트랜치 벽을 그라우팅하는 슬래브관 보강 방안을 제안하였다. 본 연구에서는 이러한 방법을 사용하여 보강한 경우와 기존의 보강하지 않은 경우에 대하여 수치 해석을 각각 실시하여 거동을 비교 분석하였으며, 분석한 결과 제안된 방안대로 보강한 경우 슬래브관 주변의 항복 및 소성 영역이 감소하여 열차통행 시 지중구조물의 안정성을 증대시킬 수 있을 것으로 검토되었다. 또한 슬래브관과 트랜치벽 주변의 변위가 감소하는 것으로 나타나 트랜치벽 시공시 안전성이 높아지는 것으로 분석되었다.

결론적으로 본 연구의 결과는 다양한 철도하중이 통과하는 지중구조물의 안전성을 확보하는 방안으로서 유용할 것으로 기대되며 향후 좀더 다양한 형태의 지중 구조물에 대한 현장실험 및 수치해석 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김홍기, 이윤범, 이은철 (2003), "운행중인 철도선로 하부 횡단 공법(TRCM) 시공 사례, 광주 도시철도 1호선 TK-2 공구", 대한 토목학회 광주·전남지회 토목학회지, 제3호.
2. 김경연, 홍성연, 김대홍, 이대수 (2004), "차량 반복하중에 의한 지중연성관의 거동특성", 한국지반공학회 춘계 학술발표대회 논문집 pp.730~737.
3. Marston (1930), "The Theory of External Loads on Closed Conduits", Bulletin No. 96, Iowa ENG.
4. 한국고속철도건설공단(2000), "고속철도 선로구축물 성능확보를 위한 구조물계측 및 평가시스템 개발(III)", 한국철도기술연구원 보고서.
5. 유중석, 최병석(2004), "지반 굴착시 지반 거동에 따른 메설관의 손상 평가", 한국지반공학회 춘계 학술발표대회 논문집 pp.765~774.
6. 전남 장성군 (2004), "장성역 지하차도 정밀안전진단용역", 에스큐엔지니어링(주) 안전진단 보고서.